# KOLONISASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA (FMA) PADA TERUNTUM MERAH (*Lumnitzera littorea*)

*Arbuscular Mycorrhizal Fungi Colonization in Red Teruntum (Lumnitzera littorea)*

**Fitria Dewi Kusuma*, Fenny Putri Mariani Sofyan, dan Sadam Zakaria**
Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis, Universitas Mulawarman, Jl. Penajam Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur

***ABSTRACT.*** *Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are root-associated fungi that require living host plants to complete their development and provide reciprocal benefit throught symbiotic relationships. Lumnitzera littorea is a true mangrove species inhabiting the landward mangrove zone and is increasingly threatened by mangrove forest conversion. The aim of this research was to quantify AMF root colonization and describe its relationship with soil chemical properties. The study was conducted at three sites based on the distribution of L. littorea and inundation frequency, namely Location 1, Location 2, and Location 3. Root samples were collected from red teruntum seedlings at each site using a non-proportional sampling method, while soil samples (0–20 cm depth) were collected around the seedlings and composited by site. Root colonization was assessed using a 0.05% trypan blue staining method, and AMF structures (spores, hyphae, vesicles, or arbuscules) were used as indicators of colonization. The results showed that all sampled individuals of red teruntum at the three study sites were colonized by AMF, with root colonization percentages varied between 30–100%. Location 3 exhibited the highest average of root colonization percentage. Correlation analysis indicated that AMF colonization tended to be positively associated with available phosphorus and pH $H_2O$, whereas negative associations were observed with total nitrogen, organic carbon, and soil cation exchange capacity (CEC). These findings provide baseline data for the application of AMF in L. littorea and support mangrove rehabilitation programs.*

***Keywords:*** *Arbuscular mycorrhizal fungi; Lumnitzera littorea; Mangrove; Root colonization*

**ABSTRAK.** Fungi mikoriza arbuskula (FMA) merupakan kelompok fungi simbion obligat yang membentuk hubungan mutualistik dengan akar tumbuhan. Teruntum merah (*Lumnitzera littorea*) merupakan jenis mangrove sejati yang menyebar pada zona mangrove daratan yang keberadaannya terancam karena alih fungsi hutan mangrove menjadi peruntukan lain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kolonisasi akar oleh FMA dan mendeskripsikan hubungannya dengan sifat kimia tanah. Lokasi penelitian terdiri dari tiga lokasi yang ditentukan berdasarkan sebaran teruntum merah dan frekuensi genangan, yaitu Lokasi 1, Lokasi 2, dan Lokasi 3. Sampel akar diambil dari anakan teruntum merah pada setiap lokasi menggunakan metode pengambilan sampel tidak proporsional. Sampel tanah diambil dari sekitar anakan teruntum merah dengan kedalaman 0–20 cm dan dikompositkan berdasarkan lokasi pengamatan. Analisis kolonisasi akar dilakukan berdasarkan metode pewarnaan menggunakan *trypan blue* 0,05%. Kolonisasi FMA pada akar ditandai dengan adanya kenampakan struktur FMA berupa spora, hifa, vesikula, atau arbuskula. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh individu sampel teruntum merah pada ketiga lokasi terkolonisasi oleh FMA dengan persentase kolonisasi berkisar antara 30–100%. Lokasi 3 memiliki rata-rata persentase kolonisasi akar oleh FMA tertinggi dibandingkan dua lokasi lainnya. Tingkat kolonisasi akar oleh FMA diindikasikan berkorelasi positif dengan P-tersedia dan pH $H_2O$. Namun, N total, C-organik, dan KTK tanah diindikasikan berkorelasi negatif dengan tingkat kolonisasi akar. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data dasar dan rujukan dalam aplikasi FMA pada teruntum merah, serta untuk mendukung kegiatan rehabilitasi mangrove.

**Kata kunci**: Fungi mikoriza arbuskula; Kolonisasi akar; *Lumnitzera littorea*; Mangrove

**Penulis untuk korespondensi**: surel: fdkusuma@fahutan.unmul.ac.id

## PENDAHULUAN

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) adalah kelompok fungi dari filum Glomeromycota yang membentuk simbiosis mutualisme dengan akar tumbuhan pada ekosistem terestrial (D'Souza, 2016). Kelompok fungi ini merupakan simbion obligat, sehingga FMA bergantung pada akar tumbuhan yang hidup (Sukarno *et al*., 2023). Fungi mikoriza arbuskula memiliki peran penting bagi tumbuhan dalam mengakuisisi unsur hara terutama fosfor, meningkatkan resistensi tumbuhan pada cekaman biotik seperti serangan penyakit, dan abiotik yang meliputi kekeringan, dingin, panas, dan tanah dengan salinitas tinggi (Chauhan *et al*., 2022; Piliarova *et al*., 2019). Manfaat yang didapatkan oleh tumbuhan dari simbiosis dengan FMA adalah meningkatnya pertumbuhan, kualitas, dan produktivitas.

Jenis fungi ini hampir ditemukan di semua tipe ekosistem terestrial, termasuk pada ekosistem mangrove. Mangrove adalah ekosistem khas dan bekembang pada lingkungan ekstrim yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut, kondisi air dengan tingkat keasinan tinggi, dan substrat berlumpur. Meskipun demikian, keberadaan FMA di ekosistem mangrove telah dibuktikan dari beberapa hasil penelitian (Yu *et al*., 2021; Akaji *et al*., 2022; Inoue *et al*., 2023). Wang *et al*. (2011) menjelaskan bahwa keberadaan FMA pada ekosistem mangrove dipengaruhi oleh durasi dan ketinggian genangan. Selama kondisi tergenang, FMA memperoleh oksigen dari aerenkim akar tanaman mangrove (Wang *et al*., 2011). Kehadiran FMA pada ekosistem mangrove dapat meningkatkan penyerapan unsur hara, memperbaiki karakteristik tanah di daerah rizosfer, serta meningkatkan toleransi terhadap cekaman garam dan genangan (Wang et al., 2022). Beberapa hasil penelitian membuktikan bahwa FMA bersimbiosis dengan jenis mangrove, yang meliputi *Avicennia lanata* (Kusuma *et al*., 2023), *Bruguiera gymnorrhiza*, *Avicennia officinalis*, *Excoecaria agallocha*, *Sonneratia apetala* (Gupta *et al*., 2016), *Rhizophora stylosa, Bruguiera cylindrica,* dan *Avicennia marina* (Ramadhani *et al*., 2019).

Teruntum merah (*Lumnitzera littorea*) merupakan salah satu jenis mangrove sejati yang menyebar alami pada ekosistem mangrove di Kalimantan Timur, termasuk di Kelurahan Satimpo, Kota Bontang. Teruntum merah merupakan jenis non-vivipar dari famili Combretaceae yang menyebar di wilayah pesisir tropis Asia dan Australia Utara (Su *et al*., 2007; Manurung *et al*., 2021). Jenis ini tumbuh di pinggiran zona mangrove yang berbatasan dengan wilayah daratan (Halidah, 2014), sehingga keberadaannya semakin terancam karena konversi hutan mangrove menjadi pemukiman dan peruntukan lainnya. Menurut Ellison *et al*. (2010) jenis teruntum merah dikategorikan sebagai *Least Concern* (LC) oleh *International Union for Conservation of Nature* (IUCN). Status konservasinya akan semakin terancam dengan semakin rusaknya ekosistem mangrove.

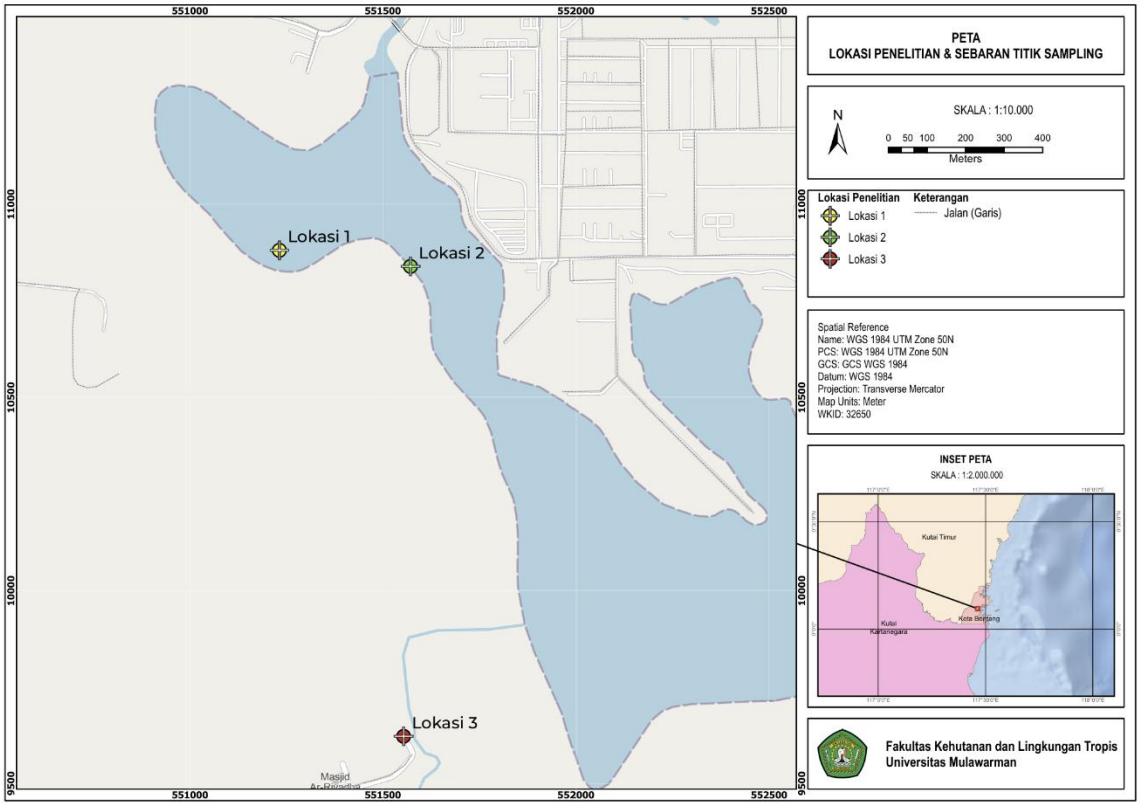
Rehabilitasi mangrove menjadi bagian dari upaya pengelolaan ekosistem mangrove yang bertujuan untuk memperkuat fungsi ekologisnya. Upaya untuk meningkatkan keberhasilan rehabilitasi mangrove perlu ada sentuhan teknologi, salah satunya yaitu teknologi mikoriza (Prayudiningsih *et al*., 2025). Oleh karena itu, informasi adanya simbiosis antara teruntum merah dan FMA sangat penting untuk mendukung upaya rehabilitasi ekosistem mangrove.

Terbentuknya simbiosis antara tumbuhan dan FMA ditandai dengan adanya kolonisasi FMA pada akar tumbuhan berupa struktur spora, hifa, arbuskula atau vesikula. Tingkat kolonisasi FMA pada akar bervariasi yang ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah sifat kimia tanah (Salim *et al*., 2020; Kusuma *et al*., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kolonisasi FMA pada akar teruntum merah dan menggambarkan hubungannya dengan kualitas kimia tanah. Hasil studi ini dapat dijadikan acuan untuk mendukung kegiatan rehabilitasi ekosistem mangrove.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Satimpo, Kecamatan Bontang Selatan, Kota Bontang, Kalimantan Timur. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi berdasarkan sebaran teruntum merah dan frekuensi genangan, yaitu Lokasi 1 (0°5'54.362" N dan 117°27'37.462" E), Lokasi 2 (0°5'53.002" N dan 117°27'48.469" E), dan Lokasi 3 (0°5'13.390" N dan 117°27'47.886" E), sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Lokasi 1 merupakan lokasi yang memiliki elevasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan area sekitarnya, sehingga lokasi ini hanya

tergenang pada saat pasang tertinggi selama beberapa hari dalam satu bulan. Jenis tumbuh alami yang dominan pada Lokasi 1 adalah teruntum merah. Lokasi 2 dan Lokasi 3 memiliki pola pasang surut campuran condong harian ganda, yang ditandai oleh terjadinya dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari dengan tinggi serta periode yang bervariasi. Selain itu, Lokasi 2 berada pada area jalur pendinginan air sisa produksi gas alam cair. Jenis tumbuhan alami yang dominan pada Lokasi 2 dan Lokasi 3 adalah *Rhizophora apiculata*.




Gambar 1. Sebaran lokasi penelitian

Sampel akar diambil dari anakan teruntum merah pada setiap lokasi menggunakan metode tidak proporsional. Jumlah sampel pada Lokasi 1 sebanyak 10 anakan, sedangkan pada Lokasi 2 dan Lokasi 3 masing-masing sebanyak 3 anakan. Perbedaan jumlah sampel tersebut didasarkan pada variasi keberadaan individu teruntum merah di masing-masing lokasi. Akar yang diambil merupakan *nutritive roots* berdiameter kurang dari 2 mm. Sampel tanah diambil dari zona perakaran anakan teruntum merah pada kedalaman 0–20 cm, kemudian dikompositkan untuk memperoleh satu sampel representatif bagi setiap lokasi penelitian tanpa perlakuan pengulangan.

Sampel akar yang diperoleh dari lapangan selanjutnya dianalisis tingkat kolonisasi FMA menggunakan metode pewarnaan akar (*root staining*) mengacu pada Clapp *et al*. (1996). Proses pewarnaan dilakukan menggunakan larutan *trypan blue* 0,05% untuk mempermudah identifikasi struktur FMA pada jaringan akar. Penentuan akar terkolonisasi oleh FMA berdasarkan kenampakan hifa, vesikula, arbuskula, dan spora (Sahner *et al*., 2015). Tingkat kolonisasi FMA pada akar dihitung dengan rumus berdasarkan Utami *et al*. (2023) dan tingkat kolonisasi FMA pada akar diklasifikasikan berdasarkan O'Connor *et al*. (2001) sesuai yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat kolonisasi FMA pada akar

| Tingkat Kolonisasi (%) | Klasifikasi |
|---|---|
| 0 | Tidak ada kolonisasi |
| >0–<10 | Rendah |
| 10–30 | Sedang |
| >30 | Tinggi |

Sampel tanah dari masing-masing lokasi dianalisis kandungan kimia tanah, yang meliputi parameter pH, total N, P-tersedia, C-oragnik, dan KTK. Metode analisis kima tanah sesuai dengan yang disajikan pada Tabel 2 (Salim *et al*., 2019). Hubungan antara tingkat kolonisasi FMA pada akar teruntum merah dan parameter kimia tanah pada setiap lokasi dianalisis menggunakan korelasi Pearson (Salim *et al*., 2020).

Tabel 2. Parameter dan metode analisis kimia tanah

| No | Parameter | Metode | Satuan |
|---|---|---|---|
| 1 | pH $H_2O$ | $H_2O$ | - |
| 2 | N Total | Kjeldahl | % |
| 3 | P-Tersedia | North Carolina | ppm |
| 4 | C-Organik | Walkley & Black | % |
| 5 | KTK | *N* $NH_4OAc$ pH 7.0 | Cmol/kg |

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis kimia tanah pada ketiga lokasi menunjukkan adanya variasi antar lokasi (Tabel 3). Nilai pH $H_2O$ pada ketiga lokasi berkisar antara 3,85–5,25 yang mengindikasikan tanah tergolong sangat masam hingga masam (Eviati *et al*., 2023). Pada ekosistem mangrove, kondisi kemasaman tanah dipengaruhi oleh proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Proses dekomposisi tersebut dapat memproduksi senyawa asam organik yang mengakibatkan pH tanah menjadi rendah (Dewi & Herawatiningsih, 2017). Pada kondisi pH tanah asam akan mengakibatkan unsur hara seperti P menjadi tidak tersedia, sehingga tumbuhan tidak dapat menyerap unsur tersebut (Alwi *et al*., 2023). Mangrove akan mudah mengasimilasi unsur hara pada kondisi pH netral (Kusmana & Chaniago, 2017) dan akan tumbuh baik pada pH tanah 7–8 (Amanta *et al*., 2025).

Nitrogen adalah nutrien makro yang dibutuhkan tumbuhan untuk proses pertumbuhan vegetatif. Berdasarkan hasil analisis nilai N total pada Lokasi 1 dan Lokasi 3 memiliki nilai yang sama yaitu 0,24% dengan kategori sedang, sedangkan pada Lokasi 2 masuk dalam kategori sangat tinggi dengan nilai 1,48%. Unsur hara makro lainnya yang sangat penting adalah fosfor. Kandungan P-tersedia pada ketiga lokasi tergolong tinggi dengan kisaran nilai 41,31–58,58 ppm.

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai KTK pada ketiga lokasi tergolong rendah. Rendahnya nilai KTK pada ketiga lokasi diduga karena proses humifikasi pada substrat tanah belum sempurna (Ningsih *et al*., 2024). Semakin tinggi KTK maka semakin banyak unsur hara kation yang dapat disimpan dan disediakan oleh tanah untuk tumbuhan, sehingga nilai KTK erat kaitannya dengan kesuburan tanah. Salim *et al*. (2020) menambahkan bahwa kondisi kimia dan kesuburan tanah mempengaruhi tingkat kolonisasi FMA pada akar.

Kandungan C-organik pada Lokasi 1 dan Lokasi 2 tergolong tinggi, sedangkan pada Lokasi 3 tergolong rendah. Akumulasi bahan organik di dalam tanah mempengaruhi kandungan C-organik (Amanta *et al*., 2025). Kandungan C-organik pada tanah berasal dari bahan organik yang telah terdekomposisi (Batubara *et al*., 2025). Bahan organik yang terdekomposisi tersebut akan mempengaruhi nilai kapasitas tukar kation (KTK). Hal ini karena proses dekomposisi bahan organik pada substrat tanah akan menghasilkan koloid organik yang dapat menyimpan dan mempertukarkan kation (Ningsih *et al*., 2024).

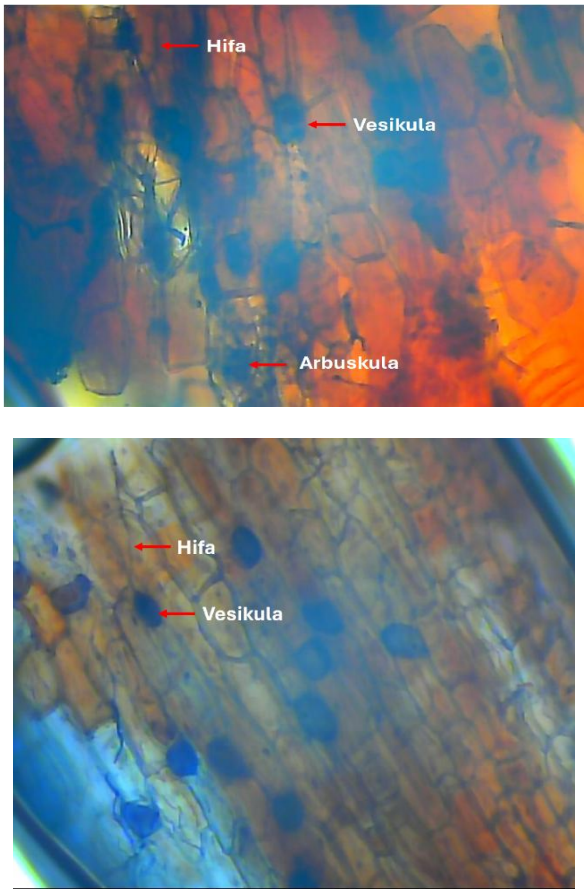
Tabel 3. Hasil analisis kimia tanah pada ketiga lokasi penelitian

| Parameter | Lokasi 1 | Kriteria | Lokasi 2 | Kriteria | Lokasi 3 | Kriteria |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pH $H_2O$ | 3,85 | Sangat Masam | 5,00 | Masam | 5,25 | Masam |
| N Total (%) | 0,24 | Sedang | 1,48 | Sangat Tinggi | 0,24 | Sedang |
| P Tersedia (ppm) | 55,57 | Sangat Tinggi | 41,31 | Sangat Tinggi | 58,58 | Sangat Tinggi |
| C-Organik (%) | 4,49 | Tinggi | 3,89 | Tinggi | 1,93 | Rendah |
| KTK (Cmol/kg) | 9,24 | Rendah | 15,96 | Rendah | 6,68 | Rendah |

Keterangan: kriteria setiap parameter mengacu pada Eviati *et al*. (2023)

Hasil analisis kolonisasi akar menunjukkan bahwa pada akar teruntum merah dijumpai struktur FMA. Struktur FMA yang dijumpai pada akar teruntum merah di penelitian ini meliputi hifa internal, vesikula, dan arbuskula (Gambar 2). Keberadaan struktur tersebut di dalam akar mengindikasikan adanya hubungan simbiosis serta berperan penting dalam hubungan mutualisme antara FMA dan akar tumbuhan (Muryati *et al*., 2016).

Arbuskula merupakan struktur FMA yang memiliki peran dalam transfer nutrisi antara FMA dan tanaman inang, sedangkan vesikula merupakan struktur FMA berbentuk bulat hingga lonjong yang berperan dalam menyimpan lipid. Hifa merupakan struktur FMA yang bentuknya seperti benang halus yang dapat menembus ke bagian luar akar tumbuhan inang. Fungsi hifa adalah sebagai perpanjangan akar untuk menyerap nutrisi bagi tumbuhan (Hazra *et al*., 2024).




Gambar 2. Struktur FMA pada akar teruntum merah dengan perbesaran 10x

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa akar seluruh individu teruntum merah pada ketiga lokasi dikolonisasi oleh FMA dengan tingkat kolonisasi yang bervariasi. Kolonisasi FMA pada akar teruntum merah pada Lokasi 1 berkisar 30–100%, pada Lokasi 2 berkisar 40–90%, sedangkan pada Lokasi 3 berkisar 70–100%. Rata-rata persentase kolonisasi FMA tertinggi dijumpai pada Lokasi 3, yaitu sebesar 83,33%, kemudian diikuti oleh Lokasi 1, sedangkan persentase yang terendah ditemukan pada Lokasi 2 (Tabel 4). Meskipun demikian, tingkat kolonisasi FMA pada akar teruntum merah di seluruh lokasi penelitian masih tergolong dalam klasifikasi tinggi. Tinggi rendahnya tingkat kolonisasi FMA dipengaruhi oleh interaksi inang, kondisi cahaya, suhu, kompetisi dalam mendapatkan nutrisi antar mikroba, dan kondisi tempat tumbuh (Turjaman *et al*., 2018).

Tabel 4. Tingkat kolonisasi FMA pada akar teruntum merah pada setiap lokasi penelitian

| Lokasi | Sampel | Tingkat Kolonisasi (%) | Kriteria |
|---|---|---|---|
| Lokasi 1 | Teruntum Merah 1_1 | 50 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_2 | 70 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_3 | 50 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_4 | 50 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_5 | 30 | Sedang |
| | Teruntum Merah 1_6 | 100 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_7 | 100 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_8 | 80 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_9 | 60 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 1_10 | 100 | Tinggi |
| | Rata-rata±SD | 69,00±25,14 | Tinggi |
| Lokasi 2 | Teruntum Merah 2_1 | 70 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 2_2 | 40 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 2_3 | 90 | Tinggi |
| | Rata-rata±SD | 66,67±25,17 | Tinggi |
| Lokasi 3 | Teruntum Merah 3_1 | 80 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 3_2 | 70 | Tinggi |
| | Teruntum Merah 3_3 | 100 | Tinggi |
| | Rata-rata±SD | 83,33±15,28 | Tinggi |

Tingkat kolonisasi FMA pada akar tumbuhan dipengaruhi oleh kandungan kimia tanah (Dhumal & Shinde, 2020). Melo *et al*. (2019) menambahkan bahwa faktor yang berkontribusi dalam kolonisasi FMA pada akar meliputi pH tanah, P-tersedia, K-tersedia, dan Mg-tersedia.

Hasil analisis menunjukkan adanya indikasi bahwa pH $H_2O$ dan P-tersedia cenderung berkorelasi positif dengan kolonisasi akar, sedangkan N total, C-organik, dan KTK terindikasi cenderung berkorelasi negatif dengan kolonisasi akar oleh FMA (Tabel 5). Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian Islam *et al*. (2026), Kusuma *et al*. (2023), dan Salim *et al*. (2020), di mana tingkat kolonisasi akar oleh FMA berkolerasi negatif dengan P-tersedia dan pH tanah. Umumnya tingkat kolonisasi akar oleh FMA akan semakin meningkat pada tanah yang memiliki kandungan P-tersedia dan pH yang rendah (Wisnubroto *et al*., 2024). Namun demikian, Lin *et al*. (2020) menyebutkan bahwa laju kolonisasi FMA pada tumbuhan dipengaruhi oleh kandungan relatif N dan P di dalam tanah. Wipf *et al*. (2019) menambahkan bahwa tumbuhan akan meningkatkan simbiosis dengan FMA ketika salah satu nutrisi makro yaitu N atau P dalam kondisi rendah. Pernyataan tersebut didukung oleh Wang *et al*. (2017), yang menyebutkan bahwa rendahnya N akan menstimulus kolonisasi akar oleh FMA pada tanah dengan P yang tinggi. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana adanya kecendrungan korelasi negatif antara tingkat kolonisasi akar dengan N total.

Tabel 5. Korelasi antara parameter kimia tanah dengan tingkat kolonisasi FMA pada akar teruntum merah

| Parameter | Tingkat Kolonisasi FMA |
|---|---|
| pH H2O | 0,53 |
| N Total (%) | -0,61 |
| P Tersedia (ppm) | 0,73 |
| C-Organik (%) | -0,94 |
| KTK (Cmol/kg) | -0,80 |

Hasil penelitan Hushan *et al*. (2025) menambahkan bahwa pada kondisi N rendah di dalam tanah, kolonisasi FMA pada akar dapat meningkatkan penyerapan N dengan mengoptimalisasikan karakteristik akar (pembentukan percabangan akar), mengordinasikan metabolisme nitrogen antara daun dan akar, serta menyesuaikan strategi ekonomi karbon tanah. Berdasarkan hasil penelitian ini menegaskan bahwa keberadaan FMA efektif membantu tumbuhan dalam mendapatkan hara pada areal-areal kekurangan atau miskin hara dan area yang terdegradasi. Oleh karena itu, FMA berpotensi untuk mendukung kegiatan rehabilitasi hutan yang terdegradasi.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh individu sampel teruntum merah pada ketiga lokasi penelitian terkolonisasi oleh FMA. Tingkat kolonisasi FMA pada akar teruntum merah di Lokasi 1, Lokasi 2, dan Lokasi 3 terindikasi berada pada kategori tinggi. Hasil penelitian juga mengindikasikan bahwa tingkat kolonisasi FMA cenderung berkorelasi positif dengan pH $H_2O$ dan P-tersedia, sedangkan total N, C-organik, dan KTK tanah cenderung berkorelasi negatif terhadap tingkat kolonisasi akar oleh FMA. Keterbatasan dalam penelitian ini meliputi cakupan lokasi dan jumlah sampel yang relatif terbatas, serta penggunaan sampel tanah komposit yang belum sepenuhnya mampu merepresentasikan variasi sifat kimia tanah pada setiap titik pengamatan secara lebih rinci. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan cakupan lokasi yang lebih luas dan analisis tanah yang lebih detail untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai asosiasi FMA pada *L. littorea*. Selain itu, studi ini selaras dengan *Sustainable Development Goal* (SDG) 15 (*life on land*), dengan menyediakan data dasar untuk pengembangan strategi rehabilitasi ekosistem mangrove yang berkelanjutan melalui pemanfaatan FMA.

### Saran

Perlu dilakukan replikasi sampel tanah pada setiap lokasi penelitian agar variasi sifat kimia tanah dapat direpresentasikan dengan lebih baik. Identifikasi genus FMA serta analisis tingkat keragamannya di area rhizosfer *L. littorea* juga perlu dilakukan guna memperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai komunitas FMA yang berasosiasi dengan tanaman tersebut. Selain itu, penelitian lanjutan mengenai perbanyakan FMA dan pengujian inokulan yang berasal dari rhizosfer *L. littorea* perlu dilakukan, disertai pengukuran respons pertumbuhan tanaman. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan informasi mengenai komposisi komunitas, potensi spesifik, serta peran ekologis masing-masing jenis FMA dalam mendukung pertumbuhan dan adaptasi tanaman pada ekosistem mangrove. Harapannya, penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan inokulan FMA lokal yang lebih adaptif dan efektif untuk mendukung program rehabilitasi mangrove.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PT Badak LNG dan Pertamina Foundation yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Akaji, Y., Inoue, T., Taniguchi, T., & Baba, S. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungal communities of a mangrove forest

along a salinity gradient on Iriomote Island. *Plant and Soil*, *472*(1), 145–159. https://doi.org/10.1007/s11104-021-05193-4

Alwi, M. K., Razie, F., & Kurnain, A. 2023. Hubungan Ketersediaan Fosfor dan Kelarutan Fe pada Tanah Sawah Sulfat Masam. *Acta Solum*, *1*(2), 61–67. https://doi.org/10.20527/actasolum.v1i2.1839

Amanta, N. N., Kusmana, C., Kintamani, E., & Hafidhin, D. 2025. Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan mangrove hasil rehabilitasi mangrove di Lampung Timur. *Jurnal Silvikultur Tropika*, *16*(2): 125–134.

Batubara, P., Putriningtias, A., Komariyah, S., & Faisal, T. M. 2025. Karakteristik fisika kimia substrat dan air terhadap kerapatan mangrove pada area restorasi mangrove untuk silvofishery di Langsa Barat, Kota Langsa, Aceh. *Buletin Oseanografi Marina*, *14*(3), 335–346. https://doi.org/10.14710/buloma.v14i3.67593

Chauhan, S., Mahawar, S., Jain, D., Udpadhay, S.K., Mohanty, S.R., Singh, A., & Maharajan, E. 2022. Boosting sustainable agriculture by arbuscular mycorrhiza under stress condition: mechanism and future prospective. *BioMed Research International*. https://doi.org/10.1155/2022/5275449.

Clapp, J. P., Fitter, A.H., & Merryweather, J. W. 1996. Arbuscular Mycorrhizas. In G. S. Hall, P. Lasserre, & D. L. Hawksworth (eds.), Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments. CAB International.

D'Souza, J. 2016. Arbuscular Mycorrhizal Diversity from Mangroves: A Review. In: Pagano, M. (eds) Recent Advances on Mycorrhizal Fungi. Fungal Biology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24355-9_10

Dewi, S. K., & Herawatiningsih. 2017. Kondisi tanah dalam kawasan mangrove di Desa Nusapati Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*, *5*(2): 177–182.

Dhumal, K. C., & Shinde, B. P. 2020. Impact of chemical properties of soil on spore density, colonization, and distribution of native arbuscular mycorrhizal fungi associated with Capsicum annum L. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, *8*(5), 59–67. https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80507

Ellison, J., Koedam, N.E., Wang, Y., Primavera, J., Jin Eong, O., Wan-Hong Yong, J. & Ngoc Nam, V. 2010. Lumnitzera littorea. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T178854A7628170.

Eviati, Sulaeman, Herawati, L., Anggria, L., Usman, Tantika, H.E., Prihatini, R., & Wuningrum, P. 2023. *Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 1–266.

Gupta, N., Bihara, M. B., & Sengupta, I. 2016. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in different salinity of mangrove ecosystem of Odisha, India. *Advances in Plants & Agriculture Researc*h, *3*(1), 19–23. https://doi.org/10.15406/apar.2016.03.00085

Halidah. 2014. Lumnitzera littorea (Jack) Voight, mangrove sejati yang terancam punah. *Info Teknis Eboni*, *11*(2): 129–137. https://doi.org/10.20886/buleboni.5047

Hazra, F., Istiqomah, F. N., Azzahra, B. A. 2024. Peran mikoriza powder dan granul dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium cepa* var. *aggregatum*). *J. Hort. Indonesia*, 15(3), 172–179. http://doi.org/10.29244/jhi.15.3.172-179

Hushan, W., Yijian, W., Yunzhu, H., Lin, J., Mengjuan, L., Zihui, S., Yihao, L., Tianxu, W., Gunquan, W., Wangfeng, Z., & Xiaozhen. 2025. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization regulates root traits and soil carbon economic strategies. *BMC Plant Biology*, 865 (25), 1–16. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06903-1

Inoue, T., Kohzu, A., Akaji, Y., Akaji, Y., Miura, S., & Baba. S. 2023. Diazotrophic nitrogen fixation through aerial roots occurs in Avecennia marina: implications for adaptation of mangrove plant growth to low-nitrogen

tidal flats. *New Phytologist*, *241*, 1464–1475. https://doi.org/10.1111/nph.19442

Islam, M. R., Abdullah-Al-Mamun, Hossain, W., Nasrin, S., Biswas, D., & Halder, M. 2026. The seasoal and soil influences on arbuscular mycorrhizal fungal root colonization in three different subtropical orchard trees. *Total Environmental Microbiology*, 2, 100058. https://doi.org/10.1016/j.temicr.2026.100058

Kusmana, C., & Chaniago ZA. 2017. Kesesuaian lahan jenis pohon mangrove di Bulaksetra, Pangandaran Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*, *8*(1):48–54.

Kusuma, F. D., Zakaria, S., & Saputra, R. A. 2023. Arbuscular mycorrhizal colonization of pioneer mangrove species in Mahakam Delta, Eask Kalimantan. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1282, 012052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1282/1/012052

Lin, C., Wang, Y., Liu, M., Li, Q., Xiao, W., & Song, X. 2020. Effects of nitrogen deposition and phosphorus addition on arbuscular mycorrhizal fungi of Chinese fir (Cunninghamia lanceolata). *Scientific Reports*, *10*(1), 12260. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69213-6

Manurung, J., Kappen, J., Schnitzler, J., Frolov, A., Wessjohan, L. A., Agusta, A., Muellner-Riehl, A. N., & Franke, K. 2021. Analysis of unusual sulphated constituents and anti-infektive properties of two Indonesian mangroves, *Lumnitzera littorea* and *Lumnitzera recemosa* (Combretaceae). *Separations*, 82 (8). https://doi.org/10.3390/separations8060082

Melo, C. D., Walker, C., Kruger, C., Borges, P. A. V., Luna, S., Mendonca, D., Fonseca, H. M. A. C., & Machado, A. C. 2019. Environmental factors driving arbuscular mycorrhizal fungal communities associiated with endemic woody plant Picconia azorica on native forest of Azores. *Annals of Microbiology*, 69, 1309–1327. https://doi.org/10.1007/s13213-019-01535-x

Muryati, S., Mansur, I., & Budi, S. W. 2016. Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada rhizosfer *Desmodium* spp., asal PT. Cibaliung Sumberdaya, Banten. *Jurnal Silvikultur Tropika*, *7*(3), 188–197.

Ningsih, R. C., Nusantara, R. W., & Manurung, R. 2024. Karakteristik kimia tanah pada beberapa penggunaan lahan di Desa Lumut Kecamatan Toba Kabupaten Sanggau. *Jurnal Pedontropika: Jurnal Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan*, *10*(1): 50–55.

O'Connor, P. J., Smith, S. E., & Smith, F.A., 2001. Arbuscular mycorrhizal associations in the southern Simpson Desert Aust. *J. Bot*, *49*, 493–9. https://doi.org/10.1071/BT00014

Piliarova, M., Ondreickova, K., Hudcovicova, M., Mihalika, D., & Kraic, J. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi – their life and function in ecosystem. *Agriculture (Pol'nohospodarstvo)*, *65*(1), 3-15. https://doi.org/0.2478/agri-2019-0001.

Prayudiningsih, R., Turjaman, M., Christita, M., Lelana, N. E., Irianto, R. S. B., Antonius, S., Hakim, S. S., Putri, A. I., Rachmat, H. H., Arifanti, V. B., Adinugroho, W. C., Fahmi, S., Imanuddin, R., Suharti, S., Sari, U. K., Hidayat, A., Suhartana, S., Wahyuni, T., Silsigia, S., Kato, T., Prematuri, R., Faizal, A., Miyazawa, K, & Osaki, M. 2025. Tropical Fungi and LULUCF: Synergies for Climate Mitigation Through Nature-Based Culture (NbC). *Climate*. *13*(208), 1–30. https://doi.org/10.3390/cli13100208

Ramadhani, F. F., Ekamawanti, H. A., & Anwari, S. 2019. Asosiasi fungi mikoriza arbuskula pada tanaman mangrove di Desa Pasir Kecamatan Mempawah Hilir Kabupaten Mempawah. *Jurnal Hutan Lestari*, *7*(4), 1624–1632.

Sahner, J., Budi, S. W., Barus, H., Edy, N., Meyer, M., Corre, M. D., & Polle, A. 2015. Degradation of root community traits as indicator for transformation of tropical lowland rain forest into oil palm and rubber plantations. *Plos One*, *10*(9), e0138077. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138077

Salim, M. A., Budi, S. W., Setyaningsih, L., Iskandar, & Kirmi, H. 2019. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi as affected

by time consequences revegetation age in post coal mine area at PT Berau Coal Tbk, East Kalimantan Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 394, 012067. https://doi.org/10.1088/1755-1315/394/1/012067

Salim, M. A., Budi, S. W., Setyaningsih, L., Iskandar, Wahyudi, I., & Kirmi, H. 2020. Root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in various age classes of revegetation post-coal mine. *Biodiversitas*, *21*(10), 5013–5022. https://doi.org/10.13057/biodiv/d211005

Su, G., Huang, Y., Tan, F., Ni, X., Tang, T., & Shi, S. 2007. Conservation genetics of Lumnitzera littorea (Combretaceae), an endangered. Mangrove, from the Indo-West Pasific. *Marine Biology*, 150, 321–328. https://doi.org/10.1007/s00227-006-0357-6

Sukarno, N., Rahmawati, C., Listiyowati, S., Fadillah, W. N., & Novera, Y. 2023. Isolasi cendawan mikoriza arbuskula dari rizosfer tanaman berkayu asal Pulau Bangka dan karaktersitik struktur mikorizanya. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 9(2), 39–48.

Turjaman, M., Herdyantara, B., Faulina, S. A., Agustin, L., Irianto, R. S. B., Hidayat, A., Wahni, I., Murdani, Tjahyano, B., & Indrayadi, H. 2018. Mycorrhizal colonization of indegenous tropical tree species grown in peat swamp forest of Sumatera, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 308, 012049. https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012049

Utami, D. S. P., Mansur, I., Hilwan, I., & Haryantini, B. A. 2023. Keanekaragaman fungi mikoriza arbuskula pada tegakan kelicung (*Diospyros macrophylla* Blume) di KHDTK Rarung, Lombok Tengah. *Jurnal Silvikultur Tropika*, *14*(3), 216–222.

Wang, W., Shi, J., Xie, Q., Jiang, Y., Yu, N., & Wang, E. 2017. Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Molecular plant*, *10*(9), 1147-1158. http://dx.doi.org/10.1016/j.molp.2017.07.012

Wang, X., Wang, Y., Song, Y., & Dong, M. 2022. Formation and function of arbuscular mycorrhizae in coastal wetland ecosystems: a review. *Ecosystem Health and Sustainability*, *8*(1), 2144465. https://doi.org/10.1080/20964129.2022.2144465

Wang, Y, Huang, Y., Qiu, Q., Xin, G., Yang, Z., Shi, S. 2011. Flooding greatly affects the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi communities in the roots of wetland plants. PLoS One 6:e24512. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024512

Wipf, D., Krajinski, F., van Tuinen, D., Recorbet, G., & Courty, P. E. 2019. Trading on the arbuscular mycorrhiza market: from arbuscules to common mycorrhizal networks. *New Phytologist*, *223*(3), 1127-1142. https://doi.org/10.1111/nph.15775

Wisnubroto, M. P., Armansyah, A., Anwar, A., & Suhendra, D. 2023. Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) pada Rizosfer Beberapa Vegetasi di Lahan Pasca Tambang Batu Bara dengan Tingkat Kelerengan Berbeda. *Agro Bali: Agricultural Journal*, *6*(3), 771-782. https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i1.53685

Yu, H., Liu, X., Yang, C., Peng, Y., Yu, X., Gu, H., Zheng, X., Wang, C., Xiao, F., Shu, L., He, Z., Wu, Bo., & Yan, Q. 2021. Co-symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and diazotrophs promote biological nitrogen fixation in mangrove ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, *161*, 108382. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108382